

dr hab. Daniel Janecki, prof. UO
Instytut Inżynierii Środowiska i Biotechnologii
Wydział Przyrodniczo-Techniczny
Uniwersytet Opolski

Opole, 2 września 2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Pauliny Muchel
„Modelowanie zmienności składu gazu ziemnego metodą sztucznych sieci neuronowych”

Pismem z dnia 25 czerwca 2024 r. powierzono mi zrecenzowanie rozprawy doktorskiej mgr inż. Pauliny Muchel, pt. „Modelowanie zmienności składu gazu ziemnego metodą sztucznych sieci neuronowych”. Praca doktorska została przygotowana na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego, pod kierunkiem dr hab. inż. Jolanty Szoplik, prof. ZUT.

Problematyka rozprawy

Gaz ziemny jest jednym z najważniejszych surowców energetycznych, jednak jego eksploatacja i wykorzystanie muszą być zoptymalizowane, aby minimalizować wpływ na środowisko. Dokładne prognozowanie składu gazu ziemnego pozwala na bardziej efektywne zarządzanie jego zasobami. Dzięki temu można lepiej dostosować procesy technologiczne do specyficznych właściwości gazu, co w efekcie może prowadzić do zmniejszenia zużycia energii i surowców. Ponadto prognozowanie składu gazu ziemnego ma również znaczenie w kontekście integracji odnawialnych źródeł energii z tradycyjnymi źródłami. Wprowadzenie biometanu, uzyskiwanego z biomasy, lub wodoru do sieci gazowej jest jednym z kierunków, który wspiera transformację energetyczną w stronę zrównoważonego rozwoju. Dokładne monitorowanie i prognozowanie zmienności składu gazu, w tym domieszek takich jak biometan czy wodór, pozwala na stabilne i bezpieczne funkcjonowanie systemów gazowych, minimalizując ryzyko związane z nieprzewidzianymi zmianami w składzie paliwa.

Doktorantka w pracy zamiast tradycyjnych metod modelowania i prognozowania, często opierających się na założeniach liniowych lub wymagających manualnej kalibracji modeli na podstawie historycznych danych, zaproponowała model do prognozowania składu ziemnego metodą sztucznych sieci neuronowych (SSN). Sztuczne sieci neuronowe są jedną z najbardziej zaawansowanych technologii w dziedzinie sztucznej inteligencji, która odgrywa coraz większą rolę w różnych sektorach przemysłowych, w tym w przemyśle energetycznym. Wykorzystanie SSN w modelowaniu zmienności składu gazu ziemnego to innowacyjne podejście, które otwiera nowe możliwości w zakresie przewidywania, optymalizacji oraz monitorowania procesów związanych z gazem ziemnym. Dzięki swojej zdolności do przetwarzania dużych ilości danych oraz rozpoznawania złożonych wzorców, mogą automatycznie dostosowywać się do zmieniających się warunków, co jest kluczowe w dynamicznych systemach gazowych.

Podsumowując, przedmiot pracy jest niezwykle ważny i potrzebny, co podkreśla jej znaczenie zarówno z perspektywy naukowej, jak i praktycznej. Tematyka dysertacji jest nie tylko uzasadniona, ale również wyjątkowo interesująca, ponieważ dotyczy kluczowych zagadnień związanych z nowoczesnymi technologiami i ich zastosowaniem w przemyśle energetycznym.

Charakterystyka rozprawy

Praca rozpoczyna się dwustronicowym, krótkim wprowadzeniem uzasadniającym wybór tematyki pracy (rozdział 1). Część teoretyczna pracy zawierająca przegląd literatury jest ujęta w rozdziale 2, podzielonym na trzy podrozdziały, w których Doktorantka omówiła zagadnienia związane ze zmiennością składu gazu ziemnego transportowanego siecią gazową (rozdział 2.1), z modelowaniem systemów i analizą danych (rozdział 2.2) oraz z metodą sztucznych sieci neuronowych (rozdział 2.3).

W pierwszym podrozdziale przedstawiono charakterystykę gazu ziemnego jako głównego paliwa gazowego, a także paliw, które mogą być domieszkiwane do gazu ziemnego, takich jak biometan i wodór. Opisano parametry definiujące jakość paliwa gazowego przesyłanego siecią oraz omówiono wpływ wprowadzenia biometanu i wodoru na skład powstałej mieszaniny gazowej. Przeanalizowano wyniki badań zawartych w literaturze naukowej dotyczących transportu różnych paliw gazowych w sieciach gazowych, zmienności obciążenia gazociągów oraz monitorowania zmian składu paliwa w sieci gazowej.

W drugim podrozdziale omówiono istotę modelowania oraz etapy budowy modelu prognostycznego. Przedstawiono metody oceny jakości modeli oraz techniki analizy statystycznej danych. Przeanalizowano literaturę pod kątem konwencjonalnych metod prognozowania, takich jak szeregi czasowe i regresja, a także metod sztucznej inteligencji, takich jak sztuczne sieci neuronowe, algorytmy genetyczne oraz logika rozmyta.

W trzecim podrozdziale szczegółowo omówiono zagadnienia związane z modelowaniem sztucznych sieci neuronowych. Przedstawiono etapy rozwiązywania problemów badawczych przy użyciu tego typu modelowania oraz opisano proces uczenia sieci neuronowej. Przeanalizowano literaturę pod kątem zastosowania sztucznych sieci neuronowych, zwracając uwagę na cel prognozowania, typ i strukturę sieci, algorytmy uczenia oraz miary oceny jakości uzyskanych wyników.

Zdaniem recenzenta, przegląd literatury właściwie odzwierciedla stan wiedzy w rozpatrywanej tematyce, umożliwiając Doktorantce zdefiniowanie problemu badawczego.

Problem badawczy został opisany w rozdziale 3, w którym sformułowano także osiem hipotez badawczych. W kolejnym rozdziale, rozdziale 4, przedstawiono cel i zakres pracy. Doktorantka postawiła sobie za cel opracowanie i weryfikację modelu sztucznej sieci neuronowej do prognozowania udziałów wybranych składników gazu ziemnego w przykładowym punkcie pomiaru składu gazu ziemnego w czasie, co wynika z mieszania się gazów od różnych dostawców. Badania prowadzące do opracowania modelu sztucznej sieci neuronowej w postaci wielowarstwowego perceptronu (MLP) podzielono na etapy wstępne i zasadnicze.

Badania te zostały opisane w rozdziale 5, który podzielono na cztery podrozdziały. W podrozdziale 5.1 przedstawiono metodykę badań wstępnych i zasadniczych, co również zostało w sposób czytelny i jasny zilustrowane na rysunku 5.1. Celem badań wstępnych, omówionych w podrozdziale 5.2, był wybór danych wejściowych i wyjściowych modelu sztucznej sieci neuronowej. W tym celu przeprowadzono analizę zmienności składu gazu ziemnego w trzynastu różnych punktach sieci rurociągów, opierając się na wynikach uzyskanych od Operatora Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A., obejmujących jeden rok kalendarzowy (2018). Na podstawie tych wyników wybrano jeden punkt pomiarowy, dla którego wykonano statystyczną analizę rzeczywistych danych pomiarowych udziałów pięciu składników gazu, takich jak metan, etan, propan, azot i dwutlenek węgla, a także strumienia objętościowego gazu oraz temperatury powietrza z lat 2017-2021.

Celem badań zasadniczych, opisanych w podrozdziale 5.3, było opracowanie modelu perceptronu wielowarstwowego o najwyższej jakości w programie STATISTICA Sieci Neuronowe. Szczegółowy zakres badań zasadniczych, obejmujący cztery etapy, Doktorantka przedstawiła w Tabeli 5-1. W ramach tych badań analizowano: wpływ liczebności zbioru danych do trenowania modelu na wyniki prognoz składu gazu ziemnego, wpływ liczby i typu funkcji aktywacji neuronów oraz metody uczenia modelu na wyniki prognoz, wpływ struktury modelu na wyniki prognoz składu gazu ziemnego oraz możliwość zastosowania modelu MLP do prognozowania składu mieszaniny gazu ziemnego i wodoru. Ostatni podrozdział części badawczej (5.4) miał na celu wyznaczenie ciepła spalania na podstawie prognozowanego składu gazu ziemnego.

Pracę zakończono rozdziałami 6 i 7, w których Doktorantka przedstawiła podsumowanie dysertacji, wnioski końcowe odnoszące się do postawionych hipotez badawczych oraz osiągnięcia naukowe zaprezentowane w recenzowanej dysertacji.

Ocena formalnej strony dysertacji

Praca składa się z 188 stron. Podzielona została na 7 rozdziałów, streszczenie, wykaz oznaczeń, wykaz rysunków i tabel, bibliografię oraz rozdział poświęcony aktywności naukowej Doktorantki. Układ rozdziałów nie budzi moich zastrzeżeń.

Spis literatury zawiera 200 pozycji. Zdecydowana większość pozycji to prace, które ukazały się w ostatniej dekadzie. Dobór literatury wskazuje na dobrą orientację w zakresie problematyki badawczej.

Przedłożona rozprawa została napisana poprawną polszczyzną, w sposób przejrzysty i spójny. Tekst pracy oraz przedstawione w nim rozważania tworzą logiczną całość. Praca spełnia wszystkie wymogi formalne i została opracowana bardzo dobrze pod względem edytorskim. Korekta została wykonana bardzo starannie. W pracy występują nieliczne błędy edytorskie i stylistyczne. Poniżej przedstawiono niektóre z nich:

1. Strona 22, linia 4 – jest „Jentsh i wsp.”, powinno być „Jentsch i wsp.”.
2. Strona 30, linia 19 oraz strona 31, linia 16 – jest „Abeyseker i wsp.”, powinno być „Abeysekera i wsp.”.
3. Strona 32, linie 16 i 17 – podwójny nawias.

4. W tekście należałoby ujednoczyć sposób podawania pozycji literaturowych wieloautorskich. W większości przypadków stosowane jest „Autor i wsp.”, jednak zdarza się również użycie „Autor i in.”, na przykład na stronach 72 i 73.
5. Strona 74, linia 16 – jest „Tsoumalis G. I. i wsp.”, powinno być „Tsoumalis i wsp.”.
6. Strona 95, Tabela 5-2 – brak jednostki przy składnikach gazu ziemnego.
7. Strona 116 – zdublowanie numeracji wzoru (5-5). Numerację (5-5) przypisano już do wzoru na stronie 91.
8. Strona 146, nagłówek Tabeli 5-13 – jest „lub”, powinno być „i”.

Wartość merytoryczna pracy

Przyjęty cel rozprawy został w pełni zrealizowany. Opisane w pracy osiągnięcia wnoszą cenny wkład do zasobu wiedzy na temat symulacji zmienności składu gazu ziemnego transportowanego siecią rurociągów.

Program badań został poprawnie dobrany. Potwierdzono założone hipotezy badawcze w tym główną tezę zakładającą możliwość wytrenowania modelu sztucznej sieci neuronowej do prognozowania udziałów wybranych składników gazu ziemnego w zależności od wybranych czynników kalendarzowych oraz pogodowych.

Za najważniejsze osiągnięcia Doktorantki uważam:

1. Zastosowanie metody sztucznych sieci neuronowych do śledzenia zmian składu gazu ziemnego. Opracowanie i zweryfikowanie modelu sztucznej sieci neuronowej w postaci wielowarstwowego perceptronu do prognozowania udziałów składników gazu ziemnego. Zaproponowany model może stanowić alternatywę dla opisanych w literaturze metod symulacyjnych stosowanych do śledzenia takich zmian.
2. Możliwość wykorzystania zaproponowanego modelu do prognozowania udziałów pięciu składników gazu w wybranym punkcie sieci gazowej jako metody wspomagającej badania chromatograficzne składu gazu ziemnego oraz wyznaczania ciepła spalania, którego wartość może być następnie wykorzystana w prognozach związanych z rozliczaniem systemu gazowego.

Poniżej przedstawiam wybrane uwagi i pytania, które nasunęły mi się podczas czytania pracy:

1. Proszę o wyjaśnienie, dlaczego do trenowania modeli MLP wybrano akurat dane z roku 2018. Czy różniły się one jakoś od danych z pozostałych lat z okresu 2017-2020?
2. Analizując zmienność wybranych składników gazu ziemnego w sześciu różnych punktach pomiarowych usytuowanych na stacjach gazowych, Doktorantka zauważyła, że większe wahania składu występują w sezonie zimowym, podczas gdy w sezonie letnim dominuje w sieci gaz LNG, co może wynikać z mniejszego zapotrzebowania na gaz w tym okresie. Jednakże, analizując wykresy 5-3 do 5-8, można zauważyć, że wyniki pomiarów w powiecie grodziskim nie odpowiadają temu schematowi. W pierwszej połowie roku widoczne są duże wahania składu gazu ziemnego, natomiast w drugiej połowie roku już nie, co mogłoby wskazywać na dominację gazu LNG w składzie nawet na początku sezonu zimowego. Można to jakoś wyjaśnić?
3. Na rysunkach 5-17, 5.18, 5.19 oraz 5-20, brakuje mi porównania z rzeczywistymi wartościami udziałów pięciu składników gazu ziemnego, tak jak to przedstawiono na rysunkach 5-32 i 5-33 dla zmienności ciepła spalania.
4. Występuje niezgodność w liczbie godzin w zbiorze $N_1(H_2-L)$. Zgodnie z tekstem, zbiór ten dla okresu letniego obejmował pomniejszenie o 5% udziałów metanu, etanu, propanu, azotu i dwutlenku węgla w okresie od 1 lipca do 31 sierpnia, co odpowiada 1488 godzinom. Jednak na wykresach 5-31 oraz 5-33 okres ten wydaje się dłuższy, wynosząc trochę ponad 2000 godzin, co sugeruje, że rozważany był okres od 1 czerwca do 31 sierpnia (2208 godzin).
5. Niewielka różnica występuje również dla zbioru $N_1(H_2-Z)$. Luty miał 28 dni, co oznacza, że uwzględniony okres powinien obejmować 1416 godzin, a nie 1464. Na stronie 149, Doktorantka napisała, że brała pod uwagę okres od 1 stycznia do 28 lutego. Podana liczba przypadków $N=8760$ także sugeruje, że uwzględniono 28 dni w lutym, co oznacza, że jest to prawdopodobnie jedynie błąd w tekście.

Przedstawione uwagi i zastrzeżenia nie obniżają jednak wartości merytorycznej rozprawy. Uważam, że zaprezentowane wyniki badań oraz ich wnikliwa analiza potwierdziły słuszność stawianych w pracy celów i hipotez.

Wniosek końcowy

Podsumowując, praca doktorska mgr inż. Pauliny Muchel spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego o istotnej nowości naukowej, jak również wykazuje ogólną wiedzę Doktorantki i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (tj. Dz. U.2018 poz. 1668 z późn. zm.). W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Równocześnie zwracam się z wnioskiem o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Pauliny Muchel, ponieważ przedstawione wyniki prac badawczych wyróżniają się aktualnością, oryginalnością oraz stanowią dużą wagę naukową i praktyczną.

Opole, 02.09.2024 r.

